

538,802

Rec'd PCT/PTO 13 JUN 2005

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. Juli 2004 (01.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/056158 A2(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H05G 2/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/004129

(22) Internationales Anmeldedatum:  
11. Dezember 2003 (11.12.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 60 376.6 13. Dezember 2002 (13.12.2002) DE(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): FORSCHUNGSVERBUND BERLIN E.V.  
[DE/DE]; Rudower Chaussee 17, 12489 Berlin (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): TER-AVETISYAN,  
Sargis [AM/DE]; Grünauer Str. 101a, 12557 Berlin (DE).  
SCHNÜRER, Matthias [DE/DE]; Märkische Alle 70,  
12681 Berlin (DE). NICKLES, Peter-Viktor [DE/DE];  
Am Seeblick 4, 14476 Gross Glienicke (DE).(74) Anwalt: GEMEINSAMER PATENTSERVICE;  
Hausvogteiplatz 5-7, 10117 Berlin (DE).(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,  
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,  
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ,  
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF,  
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,  
TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des BerichtsZur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR THE CREATION OF DROPLET TARGETS

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG EINES TRÖPFCHEN-TARGETS

(57) Abstract: In order to effectively generate x-rays or EUV light, droplet targets must be available, which form a fog having an atomic density of  $> 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup> while the dimension thereof ranges within potential wavelengths of laser beams, i.e. the diameter thereof is smaller than diameters known in prior art. The aim of the invention is to offer a solution for creating such droplet targets while the high density is to be created at a greater distance from the nozzle, i.e. the droplet target is to collimate better than in prior art in order to extend the service life of the nozzle. Said aim is achieved by a device at least comprising a receptacle which receives a target liquid and inside which a high pressure is generated by means of a non-reactive gas, an electromagnetic valve that is connected to the receptacle and switches in the millisecond range, and a nozzle. Said nozzle is embodied as a supersonic nozzle to which the valve is connected via an expansion channel. Heating means that are disposed around the expansion channel are configured such that the temperature is adjustable to a level at which an oversaturated vapor is formed inside the expansion channel, an insulator being arranged between the electromagnetic valve and the heating means. The inventive device allows highly dense liquid targets in the sub- $\mu$  range to be created.

(57) Zusammenfassung: Für die effektive Erzeugung von Röntgenstrahlen oder EUV-Licht ist es notwendig, dass Tröpfchen-Tar-  
gets zur Verfügung stehen, die eine Ausdehnung in der Größe möglicher Laserwellenlängen haben und somit im Vergleich zum Stand  
der Technik einen kleineren Durchmesser aufweisen und die einen Nebel bilden, der eine Atomdichte von  $> 10^{18}$  Atome/cm<sup>3</sup> aufweist.  
Deshalb soll eine Lösung angegeben werden, die die Erzeugung von derartigen Tröpfchen-Targets ermöglicht. Die hohe Dichte soll  
auch in größerem Abstand von der Düse realisiert sein, d.h. das Tröpfchen-Target weist eine im Vergleich zum Stand der Technik  
bessere Kollimation auf, um die Lebensdauer der Düse zu erhöhen. Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung, mindestens aufwei-  
send ein Gefäß zur Aufnahme einer Target Flüssigkeit, in dem mittels eines nichtreaktiven Gases ein hoher Druck realisiert ist, ein  
mit dem Gefäß verbundenes im ms-Bereich schaltendes elektromagnetisches Ventil und eine Düse, dadurch gelöst, dass erfindungs-  
gemäß die Düse als Überschalldüse ausgebildet ist, das Ventil mit der Überschalldüse über einen Expansionskanal verbunden ist,  
um den Expansionskanal Mittel zur Heizung derart ausgebildet sind, dass die Temperatur auf eine Größe einstellbar ist, bei der ein  
übersättigter Dampf im Expansionskanal ausgebildet ist, und zwischen elektromagnetischem Ventil und dem Mittel zur Heizung ein  
Isolator angeordnet ist. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht die Erzeugung von hochdichten sub- $\mu$  Flüssigkeitstargets.

WO 2004/056158 A2

## Bezeichnung

### Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung eines Tröpfchen-Targets

5

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Tröpfchen-Targets, mindestens aufweisend ein Gefäß zur Aufnahme einer Target-Flüssigkeit, in dem mittels gasförmigem Stickstoff ein hoher Druck realisiert ist, ein mit dem Gefäß verbundenes im ms-Bereich schaltendes magnetisches Ventil und eine Düse, sowie ein Verfahren.

Im Folgenden werden dem Stand der Technik nach bekannte Vorrichtungen beschrieben, mittels derer Flüssigkeitströpfchen erzeugt werden, wobei in der Wechselwirkung mit auf diese Tröpfchen gerichtetem Laserstrahl Röntgenstrahlen oder extrem ultraviolettes Licht gebildet werden. Diese Strahlen werden beispielsweise in der Mikroskopie oder Lithographie eingesetzt.

20

In US 6,324,256 ist in einer Anordnung, die eine Laserplasma-Quelle zur Erzeugung von EUV-Licht beschreibt, auch eine Einrichtung zur Erzeugung von Tröpfchen-Targets enthalten. Die erzeugten Tröpfchen weisen einen größeren Durchmesser als Tröpfchen auf, die aus einem Gas erzeugt werden, das durch eine Düse geführt wird, hier kondensiert und eine Wolke von extrem kleinen Teilchen in Form von Clustern bildet. In der beschriebenen Lösung wird zunächst aus einem Gas mittels eines Wärmeaustauschers, der die Temperatur des Gases reduziert, eine Flüssigkeit erzeugt. Diese Flüssigkeit wird einer Düse zugeführt, deren Öffnung in Richtung Austrittsöffnung größer wird. In diesem Abschnitt werden die Tröpfchen geformt, die dann aus der Austrittsöffnung der Düse austreten und mit einem Laserstrahl zur Erzeugung von EUV-Licht in Wechselwirkung

30

treten. Die Tröpfchengröße ist hierbei jedoch nicht definiert einstellbar. Bei dieser Lösung wird also zunächst das gasförmige Ausgangsmaterial in ein flüssiges umgewandelt. Ausserdem wechselwirken die Tröpfchen mit dem Laserstrahl sehr dicht an der Düse, wodurch diese in der Folge durch Erhitzen und Erosion zerstört wird.

Von L. Rymell und H. M. Hertz wird in Opt. Commun. 103, 105 (1993) über eine Röntgenstrahlquelle berichtet, die Ethanol-Tröpfchen als Target verwendet. Für die Erzeugung dieser Tröpfchen wurde Ethanol bei 30 bis 50 at in eine Vakuumkammer durch eine Kapillare mit ca. 10  $\mu\text{m}$  Durchmesser, die sich in eine Düse verjüngt, gedrückt. Um ein Flüssigkeitsvolumen - hier mit einem Durchmesser von ca. 15  $\mu\text{m}$  - synchronisiert erzeugen zu können, werden Druckstöße piezoelektrisch mit einer Frequenz von ca. 1 MHz erzeugt. Diese relativ großen Flüssigkeitströpfchen wurden für die Untersuchung der Wechselwirkung mit Laserstrahlung in einem Intensitätsbereich von  $10^{12}$  bis  $10^{14} \text{ W/cm}^2$  verwendet, wie von O. Hemberg, B. A. M. Henson, M. Berlund and H. M. Hertz in J. Appl. Phys. 88, 5421 (2000) beschrieben. Da hierbei die Wechselwirkung mit jedem einzelnen Tröpfchen erfolgt und der Laserfokus nur wenig größer ist als der Durchmesser der Ethanol-Tröpfchen, spielt das Drift-Problem der Tröpfchen-Quelle eine wichtige Rolle, weshalb diese Arbeit insbesondere auf eine Lösung für eine akkurate Tröpfchen-Laser-Synchronisation gerichtet ist.

Hochdichter Tröpfchennebel mit einer Dichte von bis zu  $10^{19} \text{ Atom/cm}^3$  mit einem Tröpfchendurchmesser von etwa 1  $\mu\text{m}$  wurde mit einer Tröpfchenquelle hergestellt, die in Rev. Sci. Instrum. 69, 3780 (1998) von L. C. Mountford, R. A. Smith and M. R. H. R. Hutchinson beschrieben wurde und von der die vorliegende Erfindung ausgeht. Hierbei ist ein Magnetventil, welches den Flüssigkeitspuls und damit das Flüssigkeitsvolumen formiert, der Ausgangspunkt der Tröpfchenquelle. Ein Gefäß wurde mit einer Flüssigkeit gefüllt und mittels Ethanol unter hohem Druck gehalten. In Synchronisation

mit dem Laser wird das Ventil für 2500  $\mu$ s geöffnet, so dass die Tröpfchen aus der Düse austreten. Tröpfchen mit einem kleineren Durchmesser von ca. 0,6  $\mu$ m konnten durch anschließendes elektrostatisches Aufspalten der Tröpfchen, das aber eine technisch aufwendige Anordnung verlangt, erzielt werden. Jedoch weist der Nebel, der aus diesen Tröpfchen besteht, eine geringere Dichte, nämlich ca.  $10^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup>, auf.

Für die effektive Erzeugung von Röntgenstrahlen oder EUV-Licht ist es aber notwendig, dass Tröpfchen-Targets zur Verfügung stehen, die eine Ausdehnung in der Größe möglicher Laserwellenlängen haben (T.D. Donelly, M. Rust, I. Weiner, M. Allen, R.A. Smith, C.A. Steinke, S. Wilks, J. Zweiback, T.E. Cowan and T. Ditmire J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 34, L313 (2001)) und somit im Vergleich zum Stand der Technik einen kleineren Durchmesser aufweisen und die einen Nebel bilden, der eine Atomdichte von  $> 10^{18}$  Atome/cm<sup>3</sup> aufweist.

Deshalb ist es Aufgabe der Erfindung, eine Lösung anzugeben, die die Erzeugung von derartigen Tröpfchen-Targets ermöglicht. Die hohe Dichte soll auch in größerem Abstand von der Düse realisiert sein, d.h. das Tröpfchen-Target weist eine im Vergleich zum Stand der Technik bessere Kollimation auf, um die Lebensdauer der Düse zu erhöhen.

Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass erfindungsgemäß die Düse als Überschalldüse ausgebildet ist, das Ventil mit der Überschalldüse über einen Expansionskanal verbunden ist, um den Expansionskanal Mittel zur Heizung derart ausgebildet sind, dass die Temperatur auf eine Größe einstellbar ist, bei der ein übersättigter Dampf im Expansionskanal ausgebildet ist, und zwischen elektromagnetischem Ventil und dem Mittel zur Heizung ein Isolator angeordnet ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht die Erzeugung von hochdichten sub- $\mu$  Flüssigkeitstargets, die für die Untersuchung der

Wechselwirkungsprozesse von Laserstrahlung mit Plasmen erforderlich sind. Im Gegensatz zum zitierten Stand der Technik, bei dem die Tröpfchen in der gesättigten Gasphase geformt werden, entstehen die Tröpfchen in der erfindungsgemäßen Lösung aus übersättigtem Dampf, der in einer Nebelwolke kondensiert. Das mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung hergestellte Target besteht aus Tröpfchen mit einem mittleren Durchmesser von ca. 150 nm und weist eine durchschnittliche Atomdichte von  $> 10^{18}$  Atome/cm<sup>3</sup> auf. Ein derartiges Target ermöglicht die Untersuchung von bisher unerforschten Zuständen, die zwischen Clustern (von einigen Atomen bis zu  $10^6$  Atome/Cluster mit einer lokalen Dichte, die annähernd der eines Festkörpers gleicht) und Festkörpern existieren. Ausserdem - bezogen auf die Vorteile eines Clustertargets - hat die räumliche Ausdehnung der Tröpfchen Einfluss auf eine verstärkte Raumladungsbegrenzung von heißen Elektronen, was wiederum zu einer verbesserten Kopplung der Laserenergie in die Ionen der Tröpfchen führt. Damit ist es möglich, ein wesentlich heißeres Plasma zu erzeugen und einen höheren Wirkungsgrad bei der Umwandlung in Röntgenstrahlen zu erzielen. Das mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung hergestellte Tröpfchen-Target kann kontinuierlich erzeugt werden und hat eine zeitlich unbegrenzte Arbeitsweise.

20

Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung beziehen sich auf die Ausgestaltung ihrer einzelnen Bestandteile. So ist vorgesehen, dass das gepulste elektromagnetische Ventil mit einer Pulsdauer von 2 ms arbeitet; der Expansionskanal eine Länge von einigen mm bis einige 10 mm und einen Durchmesser von einigen 100 µm bis in den mm-Bereich aufweist, die Überschalldüse einen konischen Öffnungswinkel  $2\theta$  von einigen grd bis einige 10 grd, eine Eintrittsöffnung von einigen 100 µm im Durchmesser und einem einige mm langen konisch geformten Abschnitt aufweist. Nachdem die Target-Flüssigkeit beim Öffnen des Ventils in den Expansionskanal gedrückt wird, hier durch die Erwärmung ein übersättigter Wasserdampf vorliegt, dehnt sich dieser bei Durchgang durch die Ultraschalldüse aus, kühlt ab und bildet Flüssigkeitströpfchen in der gewünschten Größe und Dichte, wobei diese

30

Parameter durch die Abmessungen des Expansionskanals, seiner Temperatur und den in ihm herrschenden Druck bestimmt sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die folgenden Verfahrensschritte:

- 5 Einfüllen einer Target-Flüssigkeit in ein Gefäß, in dem mittels nichtreaktiven Gases ein hoher Druck realisiert ist, kurzzeitiges Öffnen dieses Gefäßes mittels eines gepulsten elektromagnetischen Ventils, stoßweise Einleitung der Target-Flüssigkeit in einen Expansionskanal, Erhitzen des Expansionskanals derart, dass sich übersättigter Flüssigkeitsdampf bildet, Abkühlen dieses
- 10 Dampfes beim Durchgang durch eine mit dem Expansionskanal verbundene Überschalldüse und Austreten der Tröpfchen aus der Austrittsöffnung der Düse in das Vakuum.

- In Ausführungsformen zu diesem Verfahren wird ein im ms-Bereich
- 15 arbeitendes gepulstes elektromagnetisches Ventil mit einer Pulsdauer insbesondere von 2 ms verwendet. Bei jedem Schaltvorgang des Ventils wird die Target-Flüssigkeit in den Expansionskanal und der entsprechende Dampf in die Überschalldüse gedrückt. Hierbei wird ein Expansionskanal mit einer Länge von einigen mm bis einige 10 mm und einem Durchmesser von einigen
  - 20 100  $\mu\text{m}$  bis in den mm-Bereich und eine Überschalldüse mit einem konischen Öffnungswinkel  $2\Theta$  von einigen  $\text{grd}$  bis einige 10  $\text{grd}$ , einer Eintrittsöffnung von einigen 100  $\mu\text{m}$  im Durchmesser und einem einige mm langen konisch geformten Abschnitt verwendet. Auf dem Weg zur Austrittsöffnung der Düse wird das übersättigte Gas in der Düse abgekühlt, was zur Bildung von
  - 25 Flüssigkeitströpfchen führt. Weiter ist zu bemerken, dass neben den bereits erwähnten Parametern des Expansionskanals auch der Düsendurchmesser den Durchmesser der Flüssigkeitströpfchen bestimmt, die aus der Düsenöffnung in das Vakuum austreten.

- 30 Im Vergleich zum Stand der Technik, von dem die Erfindung ausgeht, reguliert das Ventil in der erfindungsgemäßen Lösung direkt die Einspeisung in einen zusätzlich angeordneten Expansionskanal, in dem die Target-

Flüssigkeit erwärmt wird. Das nunmehr vorliegende supergesättigte Gas wird zur Düsenaustrittsöffnung geführt und dabei abgekühlt, was in der Düse die Tröpfchenbildung bewirkt. Bei der bekannten Lösung hingegen schaltet das Ventil direkt die Düse auf und zu, wodurch eine wesentlich geringere  
5 Einflussnahme auf die Bildung und Ausdehnung der Tröpfchen und ihre Kollimation möglich ist.

Die Erfindung wird in folgendem Ausführungsbeispiel anhand von Zeichnungen näher erläutert.

10

Dabei zeigen:

Fig. 1 den schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 2 eine Kurve mit dem Schaltimpuls des Ventils und der zugehörigen Intensität des entstehenden Flüssigkeitsnebels in Abhängigkeit von der  
15 Zeit;

Fig. 3 eine Kurve mit der Ausbreitungsbreite des Flüssigkeitsnebels in Abhängigkeit von der Entfernung von der Austrittsöffnung der Düse in Luft und Vakuum;

20

Fig. 4 eine Kurve mit der Dichte des Flüssigkeitsnebels in Abhängigkeit von der Entfernung von der Austrittsöffnung der Düse;

Fig. 5 eine Kurve mit der mittels CCD gemessenen relativen Intensität des gestreuten Lichts.

25

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung eines Tröpfchen-Targets weist ein gepulstes elektromagnetisches Ventil 1 auf. Diese Ventil 1 verschließt ein Gefäß (nicht dargestellt), in dem die Target-Flüssigkeit mittels gasförmigem Stickstoff bei einem Druck von 35 bar gehalten wird. Die Target-Flüssigkeit kann Wasser sein, aber auch prinzipiell jede andere Flüssigkeit. Das Ventil 1 öffnet und schließt mit einer Pulsdauer von 2 ms und entlässt in  
30 der Öffnungsphase Wassertröpfchen in einen Expansionskanal 2 mit einem Durchmesser von 1 mm und einer Länge von 15 mm. In diesem Expansionskanal 2 wird mittels eines Heizers 3 eine Temperatur von 150 °C

erzeugt, der Expansionskanal 2 ist von dem Ventil 1 mittels eines Isolators 5 getrennt. Der nunmehr am Ende des Expansionskanals 2 vorliegende übersättigte Wasserdampf wird durch eine Überschalldüse 4 geführt, die einen Öffnungswinkel von  $2\Theta = 7^\circ$ , eine Eintrittsöffnung mit  $500\ \mu\text{m}$  im Durchmesser und einen 8 mm langen konischen Abschnitt aufweist, und die sub- $\mu$  Flüssigkeitströpfchen in das Vakuum formt. An der Austrittsöffnung der Überschalldüse 4 entsteht ein Tröpfchen-Target, das kontinuierlich erzeugbar ist und eine zeitlich unbegrenzte Arbeitsweise ermöglicht.

- Fig. 2 zeigt eine Kurve mit dem Schaltimpuls des Ventils und der zugehörigen Intensität des entstehenden Flüssigkeitsnebels in Abhängigkeit von der Zeit, im Abstand von 1 mm von der Austrittsöffnung der Düse. Die Pulsdauer des Ventils betrug bei dieser Messung, bei der die von einem cw He-Ne-Laser erzeugte Strahlung auf das Tröpfchen-Target gerichtet, dort gestreut und die Intensität der gestreuten Strahlung im Abstand von 1 mm von der Düsenöffnung ermittelt wurde, 2 ms. Erkennbar ist, dass der Hauptteil des Spray-Pulses etwa 1 ms nach Öffnung des Ventils auftritt.

In Fig. 3 ist eine Kurve dargestellt, die die Ausbreitung des Flüssigkeitsnebels (Sprays) in Abhängigkeit von der Entfernung von der Austrittsöffnung der Düse in Luft und Vakuum zeigt. Verglichen mit den bekannten Ergebnissen aus dem Stand der Technik kann festgestellt werden, dass bei der erfindungsgemäßen Lösung eine um ca. 30 % bessere Kollimation erzielbar ist.

25

Die Ausbreitungsgeometrie der erzeugten Teilchen-Nebelwolke lässt sich beschreiben mit  $R = (0,32 \pm 0,02) \times h + r$ , wobei R der Radius der Spray-/Nebelwolke ist, h der Abstand von der Überschalldüse und r der Radius der Überschalldüse an der Austrittsöffnung ist. Der Abstand Null entspricht der Austrittsöffnung der Überschalldüse.

30



In Fig. 4 ist eine Kurve abgebildet, die sowohl die Abhängigkeit der Tröpfchendichte im Spray als auch die Abhängigkeit der durchschnittlichen Atomdichte im Spray von der Entfernung von der Austrittsöffnung der Düse zeigt. Die gemessene Tröpfchendichte variiert für Tröpfchen mit einem Durchmesser von  $0,15\text{ }\mu\text{m}$  von  $(1,6\pm 0,5)\cdot 10^{11}\text{ Tröpfchen/cm}^3$  (bzw. eine mittlere Moleküldichte von  $1,5\cdot 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ ) direkt an der Austrittsöffnung der Düse bis  $(7,5\pm 0,7)\cdot 10^9\text{ Tröpfchen/cm}^3$  (bzw. eine mittlere Moleküldichte von  $8\cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ ) in 20 mm Abstand von der Austrittsöffnung. Das ist bei dieser Tröpfchengröße eine bis zu drei Größenordnungen höhere Tröpfchendichte als mit gegenwärtig beschriebenen Spray-Tröpfchenquellen, welches wichtig für die Konversion von eingestrahelter Laserenergie ist.

Fig. 5 zeigt die Messdaten der Streulichtintensität in Abhängigkeit vom Beobachtungswinkel. Die durchgezogene Linie gibt die theoretische Verteilung der Streulichtintensität von Teilchen mit einem Durchmesser von  $0,15\text{ }\mu\text{m}$  an. Die gute Übereinstimmung mit den Messdaten zeigt, dass hier eine engere Verteilung der Tröpfchengrößen vorliegt als im Vergleich zum gegenwärtigen Stand der Technik, so dass kein - wie beim gegenwärtigen Stand - Tröpfchengrößefilter nachgeschaltet werden muss und so die effektive Tröpfchendichte vorteilhaft erhöht wird.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung eines Tröpfchen-Targets, mindestens aufweisend ein Gefäß zur Aufnahme einer Target-Flüssigkeit, in dem mittels  
5 eines nichtreaktiven Gases ein hoher Druck realisiert ist, ein mit dem Gefäß verbundenes im ms-Bereich schaltendes elektromagnetisches Ventil und eine Düse,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Düse als Überschalldüse (4) ausgebildet ist,  
10 das Ventil (1) mit der Überschalldüse (4) über einen Expansionskanal (2) verbunden ist,  
um den Expansionskanal (2) Mittel zur Heizung (3) derart ausgebildet sind, dass die Temperatur auf eine Größe einstellbar ist, bei der ein übersättigter Dampf im Expansionskanal (2) gebildet wird, und  
15 zwischen elektromagnetischem Ventil (1) und dem Mittel zur Heizung (3) ein Isolator (5) angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
20 das gepulste elektromagnetische Ventil (1) mit einer Pulsdauer von 2 ms arbeitet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
25 der Expansionskanal (2) eine Länge von einigen mm bis einige 10 mm und einen Durchmesser von einigen 100  $\mu\text{m}$  bis in den mm-Bereich aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
30 die Überschalldüse (4) einen konischen Öffnungswinkel  $2\Theta$  von einigen  $^\circ$  bis einige 10  $^\circ$ , eine Eintrittsöffnung von einigen 100  $\mu\text{m}$  im Durchmesser und einen einige mm langen konisch geformten Abschnitt aufweist.

5. Verfahren zur Erzeugung eines Tröpfchen-Targets, umfassend die Verfahrensschritte

- Einfüllen einer Target-Flüssigkeit in ein Gefäß, in dem mittels eines nichtreaktiven Gases ein hoher Druck realisiert ist,
- 5 - kurzzeitiges Öffnen dieses Gefäßes mittels eines gepulsten elektromagnetischen Ventils,
- stoßweise Einleitung der Target-Flüssigkeit in einen Expansionskanal,
- Erhitzen des Expansionskanals derart, dass sich übersättigter Flüssigkeitsdampf bildet,
- 10 - Abkühlen des Gases beim Durchgang durch eine mit dem Expansionskanal verbundene Überschalldüse und
- Austreten von Flüssigkeitströpfchen aus der Austrittsöffnung der Düse.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem  
15 ein gepulstes elektromagnetisches Ventil mit einer Pulsdauer im ms-Bereich, insbesondere von 2 ms, verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem  
ein Expansionskanal mit einer Länge von einigen mm bis einige 10 mm und  
20 einem Durchmesser von einigen 100  $\mu\text{m}$  bis in den mm-Bereich verwendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem  
eine Überschalldüse mit einem konischen Öffnungswinkel  $2\Theta$  von einigen  $\text{grd}$   
25 bis einige 10  $\text{grd}$ , einer Eintrittsöffnung von einigen 100  $\mu\text{m}$  im Durchmesser und einem einige mm langen konisch geformten Abschnitt verwendet wird.

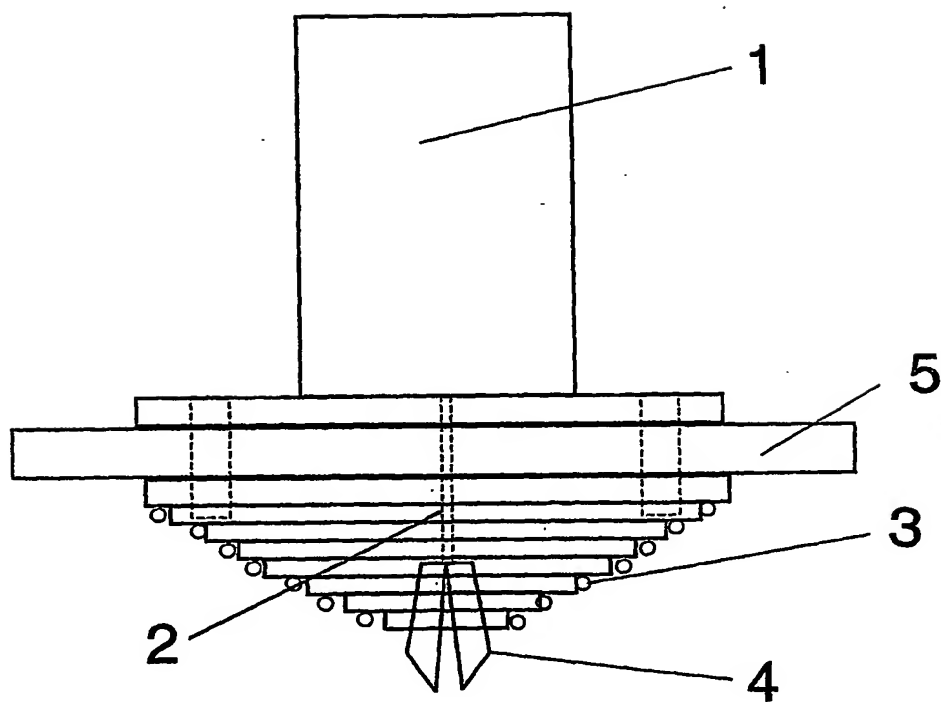


Fig. 1

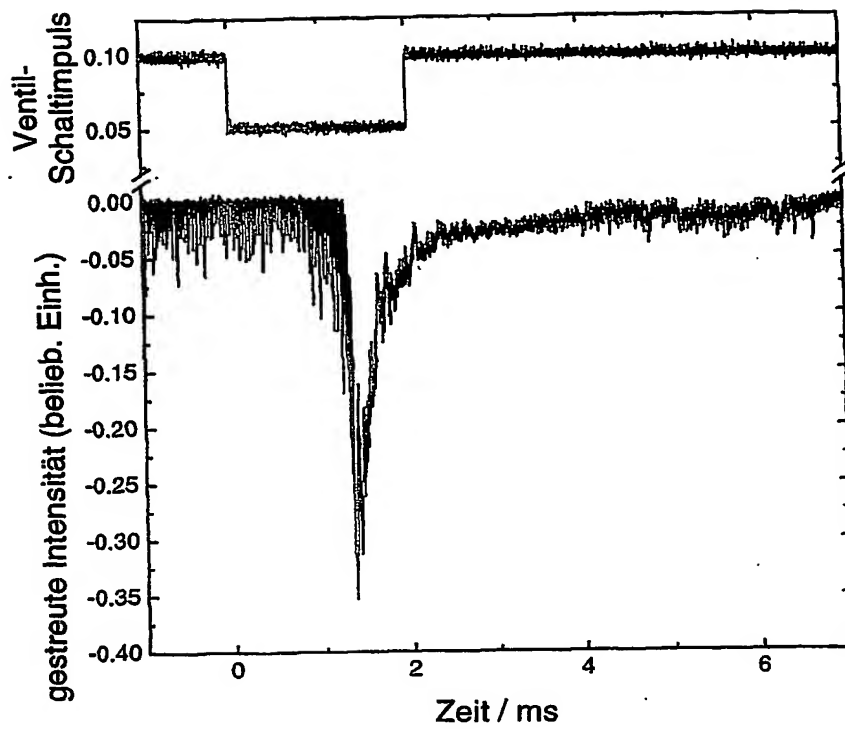


Fig. 2

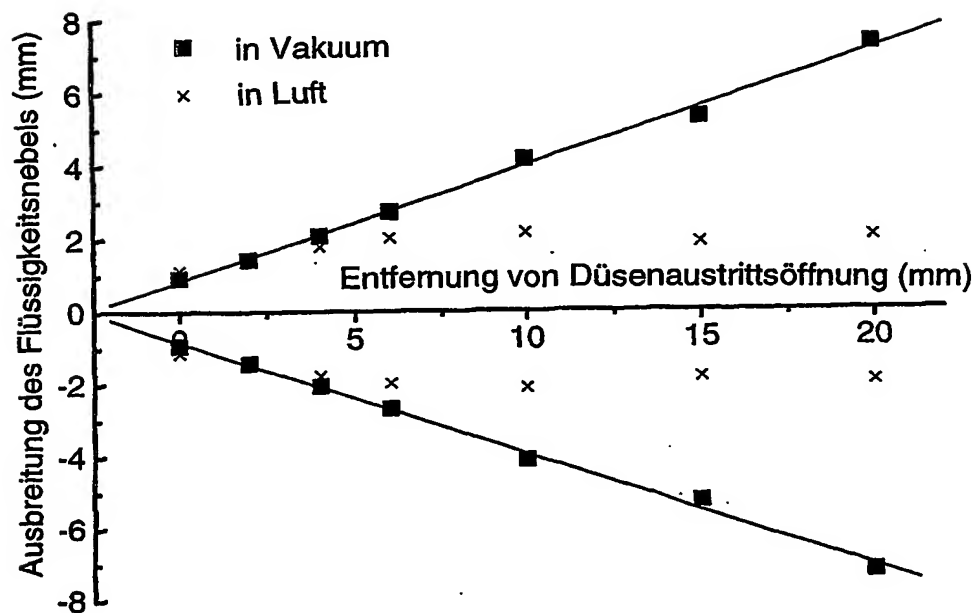


Fig. 3

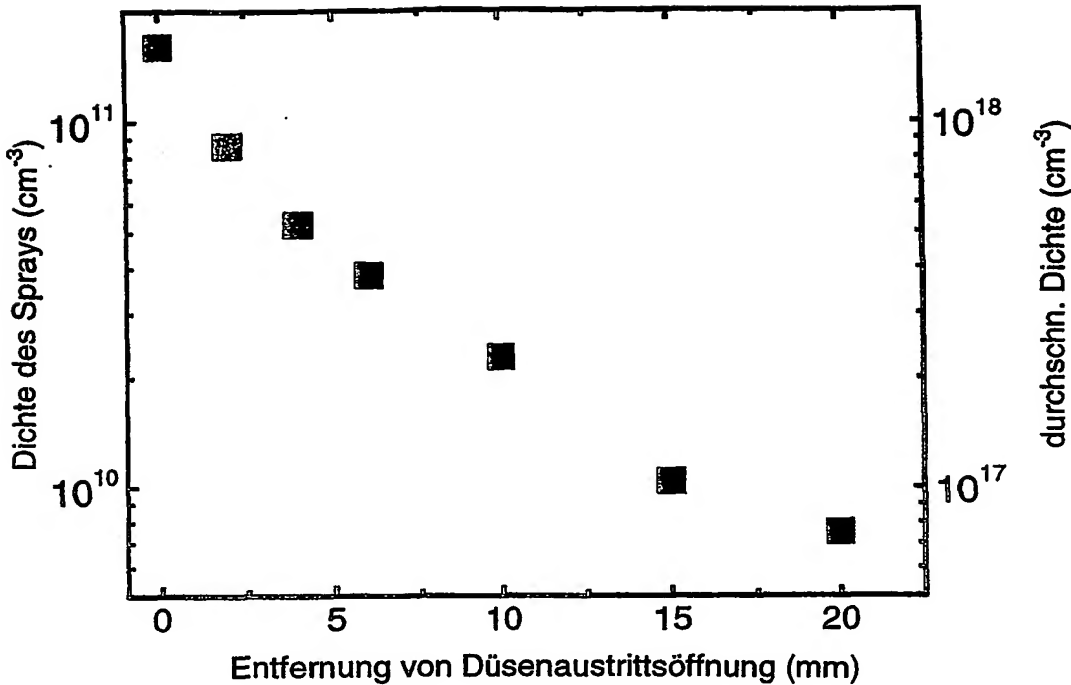


Fig. 4

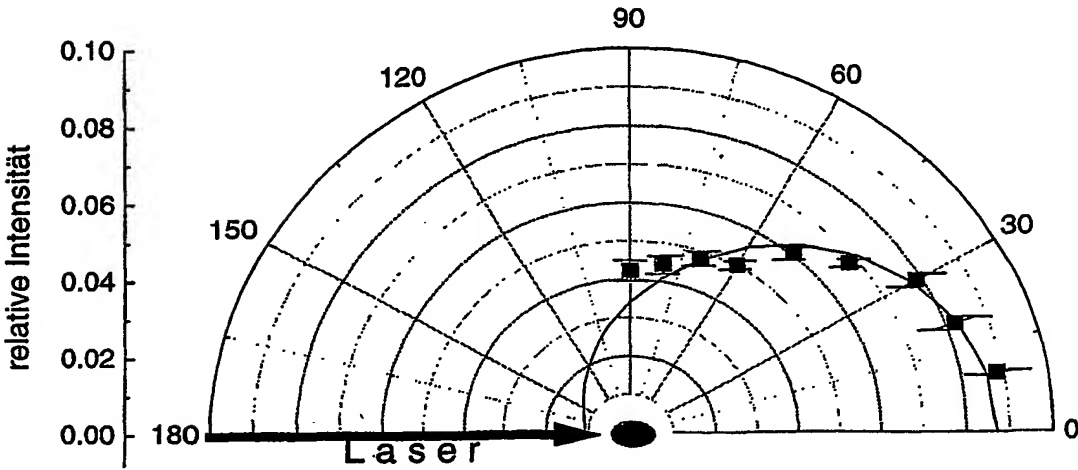


Fig. 5